

## Desain Sensor Serat Optik Berbasis *Bending* Untuk Pengukuran Regangan

WIDYA CAROLINA DWI PRABEKTI

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Sebelas Maret

### ABSTRAK

Sebuah sistem sensor dari serat optik plastik (POF) telah didesain untuk pengukuran regangan atau *strain* secara *real-time*. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem *fiber sensor* sebagai sensor *strain* dan menganalisis sinyal *output* dari sistem tersebut. Sensor dibuat dengan cara membengkokkan (*bending*) serat optik membentuk lingkaran, lingkaran berantai dan lekukan. Prinsip dari sensor ini adalah memanfaatkan rugi-rugi (*loss*) karena pembengkokan makro (*macrobending*) pada *fiber* optik. *Output* berupa transmitansi cahaya sebagai fungsi *strain* ditampilkan oleh program Intensitymeter pada LabVIEW. Pengujian pertama dilakukan dengan cara menggunakan *coil* lingkaran dengan ukuran diameter 0,5 cm ; 1,0 cm; 1,5 cm ; 2,0 cm; 2,5 cm. Hasil menunjukkan diameter *bending* 0,5 cm memiliki rugi-rugi atau *loss* cahaya paling besar. Pengujian selanjutnya dengan cara menempelkan *fiber sensor* pada sampel yang memiliki elastisitas berbeda (mika, *polyurethane*, beton). Nilai *loss* untuk pengujian pada mika hingga 1,404 dB untuk *bending* lekukan dan 1,107 dB untuk *bending* lingkaran berantai. Nilai *loss* pada *polyurethane* 0,59 dB untuk *bending* lingkaran dan hasil pengujian pada beton (misal: sampel pertama) *loss*nya 0,37 dB untuk *bending* lekukan dan 0,47 dB untuk *bending* lingkaran berantai.

**Kata kunci:** Fiber Sensor, Macrobending, Transmitansi, Strain, Loss

## ***Optical Fiber Strain Sensor Based on Bend Loss Design***

WIDYA CAROLINA DWI PRABEKTI

Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,  
Universitas Sebelas Maret

### **ABSTRACT**

Plastic optical fiber (POF) systems have been designed for real-time measurement of strain. Sensor were designed to work based on intensity modulation. For this purpose, optical fiber is bent in shape of a circle, circles chain and arches. The principle of this sensor is to utilize losses due to macro bending on an optical fiber. The transmittance as a function of strain shown by Intensitymeter program in LabVIEW. The first experiment was carried out by bending with diameter of 0.5 cm; 1.0 cm; 1.5 cm; 2.0 cm; 2.5 cm. The results show that coil with 0.5 cm diameter bent has the greatest light loss. The next study, by placing fiber sensors on specimen that having different elasticity (mica, polyurethane, concrete). For mica sample, the results show that loss up to 1.404 dB for arches bent and 1.107 dB for circles chain bent were obtained. The loss of fiber sensor for circle bent testing on polyurethane up to 0,6 dB and the results of tests on concrete (ex: first specimen) were 0.37 dB for arches bent and 0.47 dB for circles chain bent.

***Keywords:*** Fiber Sensor, Macrobending, Intensity, Transmittance, Loss

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini. Sholawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Rosulullah SAW sebagai pembimbing seluruh umat manusia. Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini penulis beri judul ” *Desain Fiber Sensor Berbasis Rugi-Rugi Karena Bending Untuk Strain Gauge*”.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari banyaknya bantuan, dukungan serta doa dari berbagai pihak, ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ahmad Marzuki, Si.Si., Ph.D. selaku pembimbing I yang selalu bijaksana dalam memberikan ilmu dan membimbing selama kuliah dan penyusunan Skripsi hingga selesai.
2. Bapak Prof. Stefanus Adi Kristiawan, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing II yang telah memberikan ilmu dan membimbing penulis dengan sabar dan bijaksana.
3. Ibu Dr. Eng. Kusumandari S,Si, M.Si selaku pembimbing akademik yang sabar memberi arahan, bimbingan, doa dan dukungan untuk penulis.
4. Ayah saya tersayang Bapak Sutiga, ibu saya tersayang Suprianik, mas Eko Setyo Pambudi dan mbak Rista Wijayanti yang selalu memberikan doa juga dukungan dari segi apapun baik disaat penulis mengalami atau tidak mengalami masalah dalam penyusunan Skripsi.
5. Teman-teman dekat penulis : Archi Yhana Prasusila, Arlita Nur Permata, Hanin Fatihatul Yumna Firdausi, Husnah Rofiko, Friska Juliana Hutaauruk, Evangelin Hutamaningtyas, Halimah Primeria Yanuar, Martia Putri Gitrin, Sari Pratiwi, Achmad Hasan Noor Majid, Siska Rahayuningtyas, Nadya Aruma Dewi, Muthoharul Janan. Dan juga teman KKN Rina, Margaretha, Eliz, Dharma, dkk.
6. Teman-teman grup riset yang lebih tua: Mas Edi Prasetyo, Mas Dedi, Mas Adi Maulana, Mas William, Mas Muchlas Mas Aftah, teman-teman grup riset

seangkatan: Aninda Virgynia Putri, Dianmas ECP, Arum Luvitasari, Dian Putri dan Ega dan adik tingkat: Lintang, Umai, Arni, Pupus, dkk.

7. Teman-teman CFC (Fisika 2012 Universitas Sebelas Maret), kakak tingkat dan adik tingkat di Fisika Universitas Sebelas Maret yang telah membantu penulis.
8. Teman-teman dari jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
9. Dea Amanda Bimantaka yang selalu memberi motivasi, mendukung dan mendoakan yang terbaik untuk penulis juga selalu sabar menemani.
10. Om Anjar Prihantoro, Tante Tatik dan mbak Anggay Dara Sintatika.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan berbagi ilmu dalam proses penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Amiin. Penulis menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Namun demikian, penulis berharap semoga Skripsi ini dapat memberikan bermanfaat.

Surakarta, Januari 2017

Widya Carolina Dwi Prabekti

## **PUBLIKASI**

Sebagian skripsi saya yang berjudul “*Desain Sensor Serat Optik Berbasis Bending Untuk Pengukuran Regangan*” telah dipublikasikan pada tanggal 30 Desember 2016 di Repository Digital Library UNS Dapat diakses melalui URL <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/57130/Desain-Fiber-Sensor-Berbasis-Rugi-rugi-Karena-Bending-Untuk-Strain-Gauge>

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>HALAMAN PUBLIKASI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xvixi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Batasan Masalah .....	2
1.3. Perumusan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Teori Cahaya .....	4
2.2. Karakteristik Serat Optik.....	6
2.3. Rugi-Rugi Daya Serat Optik .....	8
2.4. Kelengkungan dan Jari-Jari Kelengkungan.....	10
2.5. Hubungan Transmittansi dengan <i>Loss</i> Cahaya.....	12
2.6. Elastisitas.....	13
2.7. Tegangan ( <i>Stress</i> ) .....	13
2.8. Regangan ( <i>Strain</i> ).....	13

2.9. Modulus Young .....	14
2.10. Hukum Hooke .....	14
2.11. Angka Banding Poisson ( <i>Poisson Ratio</i> ) .....	15
2.12. <i>Fiber Optic Sensor</i> .....	15
2.13. Prinsip <i>Sensor Fiber Optik</i> .....	16
2.14. Aplikasi Sensor Serat Optik .....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	17
3.2.1. Alat – Alat Penelitian.....	18
3.2.2. Bahan yang Digunakan.....	19
3.2.3. <i>Software</i> yang digunakan.....	19
3.3. Metode Penelitian.....	20
3.3.1. Penyiapan Alat dan Bahan.....	21
3.3.2. Proses Pembuatan Alat .....	21
3.3.3. <i>Set Up</i> Alat.....	27
3.3.4. Perangkat Lunak .....	28
3.3.5. Proses Pengambilan Data.....	29
3.3.6. Analisis .....	31
3.3.7. Hasil .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1. Hasil Penelitian.....	36
4.2. Pengujian Menggunakan Mikroposisioner.....	37
4.3. Pengujian <i>Fiber Sensor</i> pada Mika .....	38
4.4. Pengujian <i>Fiber Sensor</i> pada <i>Polyurethane</i> .....	40
4.5. Pengujian <i>Fiber Sensor</i> pada Beton .....	42
4.6. Perbandingan Hasil Pengujian.....	53
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>55</b>
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>59</b>
----------------------	-----------



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Format Pengambilan Data Menggunakan Mikroposisioner .....	30
Tabel 3.2. Format Pengambilan Data Antara Beban (kg) dan Transmittansi (%) .	30
Tabel 3.3. Format Pengambilan Data untuk Membandingkan antara Regangan dari Material dengan Regangan yang Terukur dari <i>Fiber</i> Sensor .....	30
Tabel 4.1. Persamaan Garis pada Grafik Hubungan Beban (kg) dan Transmittansi (%).....	39
Tabel 4.2. Persamaan Garis pada Grafik Hubungan Pergeseran (mm) dengan <i>Loss</i> ( <i>dB</i> ).....	40

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sudut Datang pada Permukaan Indeks Bias (a) Pantulan Internal Parsial (b) Sudut Pembiasan Sama Dengan Sudut Kritis (c) Pemantulan Internal Total.....	5
Gambar 2.2. Kerucut Penerimaan Sinar.....	6
Gambar 2.3. Struktur Dasar Serat Optik .....	6
Gambar 2.4. Perambatan Cahaya Pada <i>Fiber</i> Optik .....	7
Gambar 2.5. Cahaya Terpencar Ke Segala Arah .....	8
Gambar 2.6. Pemantulan Fresnel .....	9
Gambar 2.7. Pembengkokan Makro.....	9
Gambar 2.8. Pembengkokan Mikro .....	10
Gambar 2.9. Kurva $y=f(x)$ .....	10
Gambar 2.10. <i>Loss</i> Cahaya Terhadap Variasi Jari-Jari .....	11
Gambar 2.11. Regangan pada suatu batang .....	14
Gambar 2.12. Tipe Sensor (a) Ekstrinsik dan (b) Intrinsik .....	15
Gambar 3.1. Skema Perangkat Alat Penelitian .....	17
Gambar 3.2. Skema Tahap-Tahap Pembuatan dan Penelitian .....	20
Gambar 3.3. Lingkaran <i>Fiber</i> Optik Yang Ditanam Pada <i>Rubber Silicone</i> .....	21
Gambar 3.4. Lekukan <i>Fiber</i> Optik Yang Ditanam Pada <i>Rubber Silicone</i> .....	21
Gambar 3.5. Pengujian Dengan Mikroposisioner .....	22
Gambar 3.6. Grafik Hubungan Jumlah Lilitan dengan Gradien Garis Transmittansi .....	22
Gambar 3.7. Uji Fiber Sensor Pada Sampel Mika .....	23
Gambar 3.8. Skema Uji Fiber Sensor Pada Sampel Beton .....	24
Gambar 3.9. Uji Fiber Sensor Pada Sampel Beton .....	24
Gambar 3.10. Rangkaian Alat Untuk Menentukan Hubungan <i>Strain</i> ( $U_e$ ) dengan Transmittansi (%) Pada Sampel <i>Polyurethane</i> .....	25
Gambar 3.11. Rangkaian Detektor Cahaya.....	26
Gambar 3.12. Detektor Cahaya.....	26
Gambar 3.13. <i>Set Up</i> Alat dengan Mikroposisioner .....	27

Gambar 3.14. <i>Set Up</i> Alat dengan Sampel Mika .....	27
Gambar 3.15. <i>Set Up</i> Alat dengan Sampel Beton .....	27
Gambar 3.16. Arduino Uno (a) <i>Digital ground</i> , (b) <i>Analog Reference Pin</i> , (c) <i>Connector USB</i> , (d) <i>Eksternal Power Supply</i> , (e) <i>Reset Pin</i> , (f) <i>3,3V Power Pin</i> , (g) <i>5V Power Pin</i> , (h) <i>Ground Pin</i> , (i) <i>Tegangan Masuk</i> , (j) <i>Pin Masukan Analog</i> , (k) <i>Atmega 328 Microcontroller</i> , (l) <i>In Circuit</i> .....	28
Gambar 3.17. Tampilan Program <i>Intensitymeter</i> .....	29
Gambar 3.18. Gambaran turunnya intensitas cahaya karena adanya <i>loss</i> pada setiap <i>bending</i> pada <i>fiber</i> optik (a) <i>Lingkaran</i> (b) <i>Lekukan</i> .....	31
Gambar 3.19. <i>Loss</i> Cahaya pada <i>Lekukan Fiber Optik</i> .....	31
Gambar 3.20. Serat Optik a) <i>Sebelum Pergeseran</i> b) <i>Setelah Ada Pergeseran</i> .....	32
Gambar 3.21. Bagian Renggang dan Kritis pada Serat Optik Saat <i>Diregangkan</i> .	32
Gambar 3.22. Jalannya Cahaya di Dalam <i>Fiber Optik</i> yang <i>Bending</i> (a) <i>Sebelum Diregangkan</i> , (b) <i>Saat Diregangkan</i> .....	33
Gambar 3.23. Geometri <i>Ellips</i> .....	34
Gambar 4.1. Sistem <i>Fiber Optik</i> yang Terlilit (a) <i>Sebelum Diregangkan (F)</i> , (b) <i>Diregangkan (F)</i> .....	36
Gambar 4.2. Sistem <i>Fiber Optik</i> yang lekukan (a) <i>Sebelum Diregangkan (F)</i> , (b) <i>Diregangkan (F)</i> .....	37
Gambar 4.3. Jari-Jari Kelengkungan dengan Nilai Transmittansinya .....	37
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Antara Beban(kg) dengan $(T - T_0)/T_0$ pada <i>Fiber Optik</i> dengan <i>Bending</i> (a) <i>Lekukan</i> (b) <i>Lingkaran</i> .....	38
Gambar 4.5. Grafik Hubungan antara Beban (kg) dengan <i>Loss</i> Cahaya (dB) Pada Serat Optik <i>Bending</i> (a) <i>Lekukan</i> (b) <i>Lingkaran</i> .....	39
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Antara Pergeseran (mm) dan Beban (N) dari Hasil Uji <i>Fiber Sensor</i> pada <i>Polyurethane</i> dengan <i>Fiber Optik Bending</i> <i>Lingkaran</i> .....	41
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Antara Pergeseran (mm) dan $(T - T_0)/T_0$ dari Hasil Uji <i>Fiber Sensor</i> pada <i>Polyurethane</i> dengan <i>fiber sensor</i> <i>Lingkaran</i> .....	41

Gambar 4.8. Grafik Hubungan Antara Pergeseran (mm) dan <i>Loss</i> (dB) dari Hasil Uji <i>Fiber Sensor</i> pada <i>Polyurethane</i> Dengan <i>Fiber Sensor Bending</i> Lingkaran.....	42
Gambar 4.9. Grafik Hubungan antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber sensor</i> dan (b) Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan <i>Loss</i> (dB) Lingkaran dan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dengan <i>Loss</i> (dB) pada Sampel Pertama .....	43
Gambar 4.10. <i>Strain</i> (Ue) terhadap Beban (kN) <i>Strain Gauge Sampel Pertama</i> .	44
Gambar 4.11. Grafik Hubungan antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber Sensor</i> dan (b) Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan <i>Loss</i> (dB) Lingkaran dan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dengan <i>Loss</i> (dB) pada Sampel Kedua.....	45
Gambar 4.12. <i>Strain</i> (Ue) terhadap Beban (kN) <i>Strain Gauge Sampel Kedua</i> ....	45
Gambar 4.13. Grafik Hubungan antara Beban (kN) dan $(T-T_0)/T_0$ dari <i>Fiber Sensor</i> dan (b) Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan <i>Loss</i> (dB) Lingkaran dan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dengan <i>Loss</i> (dB) pada Sampel Ketiga.....	46
Gambar 4.14. <i>Strain</i> (Ue) terhadap Beban (kN) <i>Strain Gauge Sampel Ketiga</i> ....	46
Gambar 4.15. Grafik Hubungan antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber Sensor</i> dan (b) Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan <i>Loss</i> (dB) Lingkaran dan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dengan <i>Loss</i> (dB) pada Sampel Keempat.....	47
Gambar 4.16. <i>Strain</i> (Ue) terhadap Beban (kN) <i>Strain Gauge Sampel Keempat</i>	47
Gambar 4.17. Grafik Hubungan antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber sensor</i> dan (b) Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan <i>Loss</i> (dB) Lingkaran dan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dengan <i>Loss</i> (dB) pada Sampel Kelima .....	48
Gambar 4.18. <i>Strain</i> (Ue) terhadap Beban (kN) <i>Strain Gauge Sampel Kelima</i> ...	48
Gambar 4.19. Perbandingan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber Sensor</i> dengan <i>Strain</i> (Ue) dari <i>Strain Gauge</i> Untuk Beton Pertama .....	49

Gambar 4.20. Perbandingan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber Sensor</i> dengan <i>Strain</i> ( $U_e$ ) dari <i>Strain Gauge</i> Untuk Beton Kedua .....	50
Gambar 4.21. Perbandingan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber Sensor</i> dengan <i>Strain</i> ( $U_e$ ) dari <i>Strain Gauge</i> Untuk Beton Ketiga .....	51
Gambar 4.22. Perbandingan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber Sensor</i> dengan <i>Strain</i> ( $U_e$ ) dari <i>Strain Gauge</i> Untuk Beton Keempat .....	51
Gambar 4.23. Perbandingan Grafik Hubungan Antara Beban (kN) dan $(T - T_0)/T_0$ dari <i>Fiber Sensor</i> dengan <i>Strain</i> ( $U_e$ ) dari <i>Strain Gauge</i> Untuk Beton Kelima .....	52
Gambar 4.24. Grafik Hubungan Antara Beban (N) dan <i>Strain</i> (mm) dan Dibandingkan dengan $(T - T_0)/T_0$ <i>Fiber Sensor</i> Lingkaran Hasil Pengujian Pada <i>Polyurethane</i> .....	53

## DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
$n$	= Indeks Bias	-
$n_1$	= Indeks Bias Medium Pertama	-
$n_2$	= Indeks Bias Medium Kedua	-
$n_{cladding}$	= Indeks Bias <i>Cladding</i>	-
$n_{core}$	= Indeks Bias <i>Core</i>	-
$i_1$	= Sudut Sinar Datang dengan Garis Normal	radian/derajat
$i_2$	= Sudut Sinar Bias dengan Garis Normal	radian/derajat
$\theta_{kritis}$	= Sudut Kritis	radian/derajat
$\theta_{maks}$	= Sudut Maksimum	radian/derajat
$K$	= Kelengkungan	meter
$\tau$	= Garis Singgung	meter
$s$	= Busur	meter
$R$	= Jari-jari Kelengkungan	meter
$T$	= Transmittansi	%
$I_{mod}$	= Intensitas Modulasi	W/m <sup>2</sup>
$I_{ref}$	= Intensitas Referensi	W/m <sup>2</sup>
$Loss (db)$	= Rugi-Rugi	Decibel
$P_{ref}$	= Daya Referensi	W
$P_{mod}$	= Daya Modulasi	W
$V_{ref}$	= Tegangan Referensi	Volt
$V_{mod}$	= Tegangan Modulasi	Volt
$R$	= Hambatan	Ohm
$\sigma$	= Tegangan	N/m <sup>2</sup> atau Pa
$F$	= Gaya	N
$A$	= Luasan	meter <sup>2</sup>
$\varepsilon$	= Regangan	-
$\ell$	= Panjang Batang	meter
$\ell_0$	= Panjang Awal	meter
$\Delta \ell$	= Perubahan Panjang	meter
$Y$	= Modulus Young	-
$\nu$	= Angka Banding Poisson	-
$b_0$	= Lebar Semula	meter
$-\Delta b$	= Penambahan atau Penyusutan Lebar	meter

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengujian Dengan Mikropositioner .....	59
Lampiran 2. Data Pengujian Pada Mika .....	60
Lampiran 3. Data Pengujian Pada Beton .....	61
Lampiran 4. Data Pengujian Pada <i>Polyurethane</i> .....	67
Lampiran 5. Blok Diagram Program <i>Intensitymeter</i> .....	69